昆虫学报 Acta Entomologica Sinica, June 2012, 55(6): 710 – 718 ISSN 0454-6296

榆木蠹蛾幼虫龄数的确定

杨美红[1], 张金桐[1,*], 宗世祥[2], 骆有庆[2], 牛辉林[3], 张 彪[3]
(1. 山西农业大学化学生态研究所, 山西太谷 030801; 2. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 宁夏哈巴湖国家级自然保护区管理局高沙窝管理站, 宁夏盐池 751501)

摘要: 为弄清榆木蠹蛾 *Holcocerus vicarius* Walker 幼虫的发育情况及预测其发生时间, 通过测量榆木蠹蛾幼虫的头壳宽、体长、体宽、前胸背板宽、上颚长和上颚宽, 运用 Crosby 生长法则和线性回归方法分析来找出判定幼虫龄数的最佳形态指标, 推断其幼虫的龄数。结果表明: 各龄幼虫头壳宽平均值的变异系数和 Crosby 指数最小, 其他 5 项指标的变异系数和 Crosby 指数较大, 头壳宽为最佳分龄指标。根据头壳宽将榆木蠹蛾幼虫分为 20 龄, 不同龄幼虫头壳宽值符合 Dyar 定律提出的幼虫头壳宽增长规律, 头壳宽和龄数的回归方程为 $y = 0.233 + 1.686x + 0.127x^2 - 0.005x^3$ ($R^2 = 0.996$)。榆木蠹蛾幼虫龄数的确定为研究其发生规律、生物学习性及进行综合防治提供依据。

关键词: 榆木蠹蛾; 幼虫龄数; Grosby 指数; Brooks 指数; 分龄指标
中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2012)06-0710-09

Determination of the larval instar number of the carpenter moth *Holcocerus vicarius* (Lepidoptera: Cossidae)

YANG Mei-Hong[1], ZHANG Jin-Tong[1,*], ZONG Shi-Xiang[2], LUO You-Qing[2], NIU Hui-Lin[3], ZHANG Biao[3] (1. Institute of Chemical Ecology, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China; 2. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Gaoshawo Management Station of Ningxia Habahu National Nature Reserve, Yanchi, Ningxia 751501, China)

Abstract: In order to reveal the development of the carpenter moth *Holcocerus vicarius* (Walker) larva and forecast its occurrence time, the head capsule width, body length, body width, pronotum width, mandible length and mandible width were measured, and Crosby law and linear regression analysis were used to choose the optimal morphological index for determining the larval instars of *H. vicarius*. The results showed that the head capsule width provided the best index to divide instars, since its mean coefficient of variation and Crosby ratio were the least, while those of other indexes were greater. *H. vicarius* was determined to have twenty instars. Different instars conformed to the growth regularity of larval head capsule width proposed in Dyar's law. The linear regression equation of the head capsule width against the instar number was: $y = 0.233 + 1.686x + 0.127x^2 - 0.005x^3$ ($R^2 = 0.996$). Determination of the larval instar number of this moth could provide the basis for studying its occurrence and biological characteristics, and facilitate to develop comprehensive prevention and control.

Key words: *Holcocerus vicarius*; larval instar; Crosby ratio; Brooks ratio; index of instar separation

榆木蠹蛾 *Holcocerus vicarius* (Walker)属于鳞翅目(Lepidoptera)木蠹蛾科(Cossidae), 又名柳干木蠹蛾、柳乌蠹蛾、大褐木蠹蛾, 主要以幼虫危害白榆 *Ulmus pumila* L. 的枝干及根部(高同义等, 2008), 其次危害刺槐 *Robinia pseudoacacia* L.、麻栎 *Quercus acutissima* Carruth、金银花 *Lonicera japonica* Thunb、花椒 *Zanthoxylum bungeanum* Maxim.、柳树 *Salix babylonica*、杨树 *Populus* spp.、核桃 *Juglans regia* L. 和苹果 *Malus pumila* Mill. 等(萧刚柔, 1992), 是 2003 年国家林业局发布的"林业危险性有害生物名单"中的有害生物之一(国家林业局防止外来林业有害生物管理办公室, 2003)。目前对

基金项目: 国家自然科学基金项目(31070581); "十二五"国家科技支撑计划项目(2012BAD19B07); 山西省科技攻关计划项目(20120311013-3)
作者简介: 杨美红, 女, 1970 年生, 山西太谷人, 博士研究生, 副教授, 主要从事化学生态学研究, E-mail: zxymh123@163.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhangjintong@126.com
收稿日期 Received: 2012-02-24; 接受日期 Accepted: 2012-05-15

该害虫的研究在成虫生殖行为及性信息素产生与释放节律(杨美红等，2010)、性信息素通讯系统的超微结构(杨美红等，2011)、榆木蠹蛾生态学特性及生物学特性(李冰等，2005；郝小燕等，2006；高同义等，2008)、化学防治和生物防治(方德齐等，1992)等方面有过报道。榆木蠹蛾幼虫主要危害枝干及根部，因此对该虫生物学习性等方面的研究和有效防治带来很大困难。

对于防治害虫来说，准确区分和判定蛀干害虫幼虫的龄数在生产防治和科学研究上具有重要意义，但由于榆木蠹蛾幼虫的生活场所隐蔽和发生期较长，因此准确判定幼虫龄数的难度较大。李宪臣等(1991)采用室内人工饲养榆木蠹蛾观察幼虫蜕皮的方法来确定龄数，但与野外林间幼虫实际龄数往往存在一定的差异。因此为了弄清野外榆木蠹蛾幼虫的发育情况，准确地预测其发生时间，本研究选择了 6 项指标进行测定，初步推断其幼虫的龄数，旨在找出判定幼虫龄数的最佳形态指标，为采取有效的防治策略提供理论依据。

1　材料和方法

1.1　幼虫样本收集

2010 年 5 月 5 日至 2011 年 4 月 20 日，供试榆木蠹蛾幼虫采自宁夏回族自治区盐池县机械化林场高沙窝分厂，其地理坐标为北纬 38°00′28.81″~38°00′51.38″，东经 107°01′11.84″~107°01′55.78″，2010 年 5 月 5 日 -10 月 5 日每隔半个月取样 1 次，共取样 11 次，2010 年 10 月 20 日 -2011 年 4 月 20 日(幼虫越冬期)每隔一个月取样 1 次，共取样 7 次，每次随机抽取受害的 10 棵榆树，收集根部和干部所有的幼虫，包括当年生幼虫和往年生幼虫，每次收集的幼虫数量为 100 头左右，共收集 1 733 头幼虫。距离受害榆树 1.5 m 左右、5~10 cm 深的沙土中采集蛹，埋入实验室中装有潮湿细沙的纱笼(60 cm × 45 cm × 30 cm)中，待其羽化后交尾、产卵并孵化，获得初孵幼虫(1 龄幼虫)165 头，收集预蛹期的老熟幼虫以获得最后 1 龄幼虫 127 头，一整年共收集到活幼虫 2 025 头。将新收集到幼虫分装在铁纱笼(30 cm × 30 cm × 30 cm)中，每个纱笼中装 15~20 头。

1.2　分龄指标及测量方法

榆木蠹蛾幼虫分龄指标确定参考宗世祥等(2006)的方法，将每次收集到的幼虫及时进行测量(测量时用 75% 酒精杀死)，对收集到的幼虫测定头壳宽(与虫体纵轴垂直的头壳最宽处量度)、体长[幼虫静止伸展状态下，背面观，头部最前沿(不包括触角)沿中纵向至腹部最末端的距离]、体宽(幼虫静止伸展状态下，背面观，与虫体纵轴垂直的最宽处量度)、前胸背板宽(与虫体纵轴垂直的前胸背板最宽处量度)、上颚长(上颚基部沿中纵向至端部的距离)、上颚宽(与中纵向垂直的上颚最宽处量度)6 个指标。

高龄幼虫的头壳宽、体长、体宽、前胸背板宽、上颚长、上颚宽测定用游标卡尺，低龄幼虫相应指标的测定在德国徕卡显微系统公司生产的 LEICA MZ6 显微镜下测得。

1.3　数据统计与分析

使用 SPSS Statistics 17.0 统计分析软件进行频次分布分析，并作每项指标相应的频次分布图，初步确定幼虫的龄数。龄数确定后，根据测定值计算头壳宽、体长、体宽、前胸背板宽、上颚长、上颚宽的均值、标准误差及变异系数。根据 Grosby 生长法则计算 Brooks 指数和 Grosby 指数，对各指标测量数据与相应龄数进行回归分析比较各指标分龄的合理性，选择最佳分龄指标。

Brooks 指数 $= \frac{x_n}{x_{n-1}}$ (x_n 和 x_{n-1} 分别表示 n 龄和 $n-1$ 龄幼虫各个测量指标的平均值)；

Grosby 指数 $= \frac{b_n - b_{n-1}}{b_{n-1}}$ (b_n 和 b_{n-1} 分别表示第 n 和第 $n-1$ 个 Brooks 指数)。

2　结果与分析

2.1　榆木蠹蛾幼虫最佳分龄指标的选择

分别对榆木蠹蛾各龄幼虫 6 项指标的均值、变异系数、Brooks 指数和 Crosby 指数进行计算，其中各龄头壳宽平均值的变异系数和 Crosby 指数最小，上颚宽的次之；体长、体宽、前胸背板宽、上颚长这 4 项指标的变异系数和 Crosby 指数较大(表 1)，因此利用头壳宽和上颚宽作为榆木蠹蛾幼虫的分龄指标较为合理。

2.2　榆木蠹蛾幼虫龄数的初步确定

根据对 2 025 头榆木蠹蛾幼虫 6 项指标测量值进行频次分布统计分析，观察频次分布图，一个频次分布集中的区域代表一个龄期。头壳宽频数分布具有明显的 20 个峰值(图 1：A)，并且峰与峰之间

表 1 榆木蠹蛾幼虫 6 种形态结构的测量值及统计分析

Table 1 Measurements and statistics for six morphological structures of *Holcocerus vicarius* larvae

龄数 Larval instar	头壳宽 Head capsule width					体长 Body length					体宽 Body width				
	均值(mm) Mean ± *SD*	样本数 Number of samples	变异系数 Coefficient of variation	Brooks 指数 Brooks ratio	Crosby 指数 Crosby ratio	均值(cm) Mean ± *SD*	样本数 Number of samples	变异系数 Coefficient of variation	Brooks 指数 Brooks ratio	Crosby 指数 Crosby ratio	均值(cm) Mean ± *SD*	样本数 Number of samples	变异系数 Coefficient of variation	Brooks 指数 Brooks ratio	Crosby 指数 Crosby ratio
1	0.6655 ±0.0544	165	0.0817			0.5610 ±0.0888	165	0.1583			0.1128 ±0.0121	165	0.1074		
2	0.9046 ±0.0037	60	0.0041	1.3593		0.7677 ±0.0201	83	0.0262	1.3685		0.1871 ±0.0038	108	0.0205	1.6590	
3	1.2560 ±0.0142	63	0.0113	1.3885	0.0214	0.9326 ±0.0419	108	0.0450	1.2148	−0.1123	0.2456 ±0.0209	109	0.0849	1.3130	−0.2085
4	1.7626 ±0.0347	112	0.0197	1.4034	0.0108	1.4357 ±0.1980	126	0.1379	1.5394	0.2672	0.3109 ±0.0164	112	0.0529	1.2656	−0.0361
5	2.3064 ±0.0023	112	0.0010	1.3085	−0.0677	1.9468 ±0.0553	97	0.0284	1.3560	−0.1191	0.4655 ±0.0043	103	0.0092	1.4974	0.1831
6	2.7474 ±0.0739	105	0.0269	1.1912	−0.0896	2.2198 ±0.0349	99	0.0157	1.1402	−0.1591	0.5134 ±0.0062	95	0.0122	1.1028	−0.2635
7	3.2772 ±0.0022	85	0.0007	1.1929	0.0014	2.4462 ±0.0521	84	0.0213	1.1020	−0.0335	0.5649 ±0.0037	87	0.0066	1.1003	−0.0023
8	3.8069 ±0.0266	101	0.0069	1.1781	−0.0124	2.8641 ±0.1987	119	0.0694	1.1708	0.0625	0.6042 ±0.0066	108	0.0109	1.0696	−0.0279
9	4.4950 ±0.0292	104	0.0065	1.1642	−0.0118	3.3738 ±0.0845	113	0.0250	1.1780	0.0610	0.7032 ±0.0216	103	0.0307	1.1640	0.0882
10	4.7892 ±0.0055	113	0.0011	1.0655	−0.0848	3.7197 ±0.0914	94	0.0246	1.1023	−0.0642	0.8334 ±0.0370	102	0.0445	1.1851	0.0182
11	5.0435 ±0.0774	103	0.0153	1.0531	−0.0116	4.4418 ±0.1647	156	0.0371	1.1943	0.0853	0.9905 ±0.0061	91	0.0061	1.1886	0.0029
12	5.2906 ±0.0101	126	0.0019	1.0490	−0.0039	4.9874 ±0.2582	121	0.0518	1.1228	−0.0599	1.1033 ±0.0098	105	0.0088	1.1138	−0.0629
13	5.5676 ±0.0404	103	0.0073	1.0524	0.0032	5.4891 ±0.0805	99	0.0147	1.1006	−0.0198	1.1685 ±0.0166	91	0.0142	1.0591	−0.0491
14	5.9147 ±0.0066	83	0.0011	1.0623	0.0095	6.2864 ±0.1782	130	0.0283	1.1453	0.0406	1.2928 ±0.0424	86	0.0328	1.1064	0.0446
15	6.2951 ±0.0506	96	0.0080	1.0643	0.0018	7.0905 ±0.0689	99	0.0097	1.1279	−0.0152	1.3431 ±0.0025	95	0.0019	1.0389	−0.0610
16	6.7058 ±0.0370	85	0.0055	1.1337	0.0672	7.6555 ±0.0908	108	0.0119	1.0797	−0.0428	1.4739 ±0.0477	112	0.0324	1.0974	0.0562
17	7.1601 ±0.1241	98	0.0173	1.0678	−0.0582	8.0941 ±0.1182	97	0.0146	1.0573	−0.0207	1.6780 ±0.0419	117	0.0250	1.1385	0.0375
18	7.6346 ±0.0608	94	0.0080	1.0663	−0.0014	8.7402 ±0.1830	127	0.0209	1.0798	0.0213	1.6963 ±0.0066	109	0.0039	1.0109	−0.1121
19	8.1225 ±0.0026	90	0.0003	1.0639	−0.0022						1.7445 ±0.0325	127	0.0186	1.0285	−0.0174
20	8.3212 ±0.0260	127	0.0031	1.0245	−0.0371										

续表 1 Table 1 continued

龄数 Larval instar	前胸背板宽 Pronotum width					上颚长 Mandible length					上颚宽 Mandible width				
	均值(cm) Mean ± *SD*	样本数 Number of samples	变异系数 Coefficient of variation	Brooks 指数 Brooks ratio	Crosby 指数 Crosby ratio	均值(mm) Mean ± *SD*	样本数 Number of samples	变异系数 Coefficient of variation	Brooks 指数 Brooks ratio	Crosby 指数 Crosby ratio	均值(mm) Mean ± *SD*	样本数 Number of samples	变异系数 Coefficient of variation	Brooks 指数 Brooks ratio	Crosby 指数 Crosby ratio
1	0.1009 ±0.0144	165	0.1425			0.5614 ±0.0309	165	0.0551			0.6437 ±0.0025	165	0.0039		
2	0.1892 ±0.0314	99	0.1658	1.8748		0.7150 ±0.0038	99	0.0053	1.2736		0.8530 ±0.0512	111	0.0600	1.3253	
3	0.2632 ±0.0057	117	0.0216	1.3907	-0.2582	0.8773 ±0.0406	76	0.0463	1.2270	-0.0365	1.0387 ±0.0184	92	0.0177	1.2176	-0.0812
4	0.3175 ±0.0045	154	0.0141	1.065	-0.1325	0.9563 ±0.0216	135	0.0225	1.0900	-0.1117	1.2713 ±0.0210	88	0.0165	1.2240	0.0052
5	0.4588 ±0.0039	85	0.0084	1.4449	0.1977	1.0438 ±0.0026	27	0.0025	1.0915	0.0014	1.5538 ±0.0293	90	0.0189	1.2222	-0.0015
6	0.5178 ±0.0256	102	0.0494	1.1286	-0.2189	1.1140 ±0.0025	96	0.0022	1.0673	0.0222	1.7289 ±0.0623	98	0.0360	1.1127	-0.0896
7	0.5926 ±0.0092	108	0.0155	1.1445	0.0141	1.2058 ±0.0765	124	0.0634	1.0824	0.0141	1.9142 ±0.0170	84	0.0089	1.1072	-0.0049
8	0.6880 ±0.0078	82	0.0113	1.1610	0.0144	1.4557 ±0.0709	109	0.0487	1.2073	0.1154	2.1729 ±0.0311	96	0.0143	1.1351	0.0252
9	0.7794 ±0.0330	96	0.0424	1.1329	-0.0242	1.6844 ±0.0224	131	0.0133	1.1571	-0.0416	2.3473 ±0.0596	112	0.0254	1.0803	-0.0483
10	0.8890 ±0.0070	92	0.0079	1.1405	0.0067	1.8372 ±0.0030	76	0.0016	1.0907	-0.0574	2.5583 ±0.0413	111	0.0161	1.0941	0.0128
11	0.9991 ±0.0110	88	0.0110	1.1239	-0.0146	1.9519 ±0.0305	95	0.0156	1.0625	-0.0259	2.7639 ±0.0281	93	0.0102	1.0762	0.0762
12	1.0972 ±0.0111	106	0.0102	1.0982	-0.0229	2.0973 ±0.0584	98	0.0278	1.0745	0.0113	2.9482 ±0.0268	90	0.0091	1.0667	-0.0088
13	1.1507 ±0.0082	84	0.0071	1.0487	-0.0451	2.4321 ±0.0139	121	0.0057	1.1596	0.0793	3.1645 ±0.0284	82	0.0090	1.0734	0.0062
14	1.1986 ±0.0149	105	0.0124	1.0417	-0.0067	2.5825 ±0.0338	174	0.0131	1.0618	-0.0844	3.3652 ±0.0513	78	0.0152	1.0634	-0.0093
15	1.3033 ±0.0078	91	0.0060	1.0887	0.0438	2.7082 ±0.0052	117	0.0019	1.0487	-0.0124	3.6586 ±0.1157	88	0.0316	1.0872	0.0224
16	1.4104 ±0.0138	97	0.0098	1.0822	-0.0047	2.9119 ±0.0513	139	0.0176	1.0753	0.0253	4.0177 ±0.0626	85	0.0156	1.0982	0.0101
17	1.5255 ±0.0176	111	0.0115	1.0816	-0.0005	3.0491 ±0.0232	116	0.0076	1.0471	-0.0262	4.2235 ±0.0025	95	0.0006	1.0512	-0.0427
18	1.6043 ±0.0190	116	0.0118	1.0517	-0.0277	3.1464 ±0.0045	127	0.0014	1.0319	-0.0145	4.4464 ±0.0430	83	0.0097	1.0528	0.0015
19	1.6979 ±0.0412	127	0.0243	1.0584	0.0064						4.6249 ±0.0028	84	0.0006	1.0401	-0.0120
20											4.8499 ±0.0484	73	0.0100	1.0487	0.0082
21											4.9893 ±0.0279	127	0.0056	1.0287	-0.0190

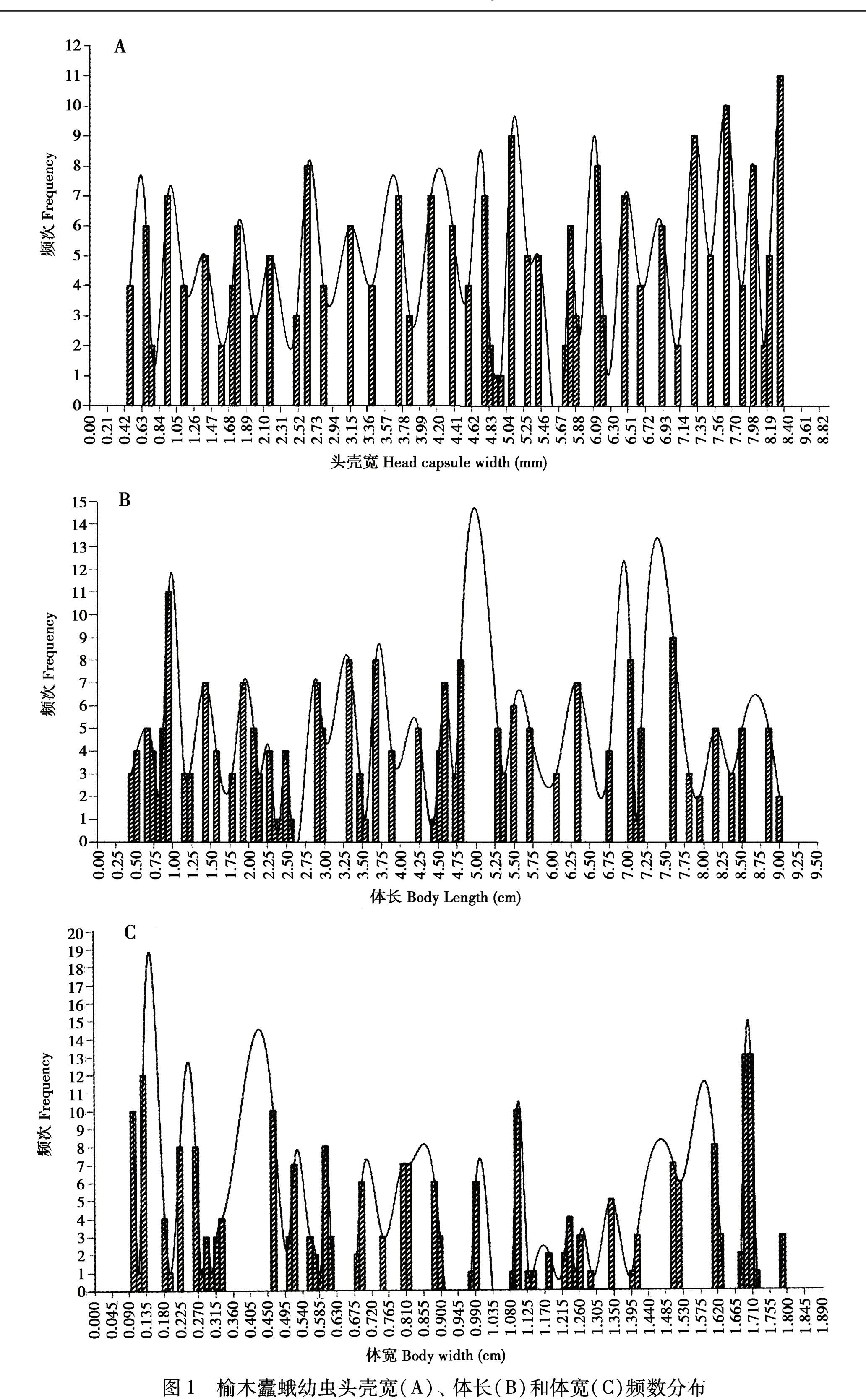


图 1 榆木蠹蛾幼虫头壳宽(A)、体长(B)和体宽(C)频数分布

Fig. 1 Frequency distribution of head capsule width (A), body length (B) and body width (C) of *Holcocerus vicarius* larvae

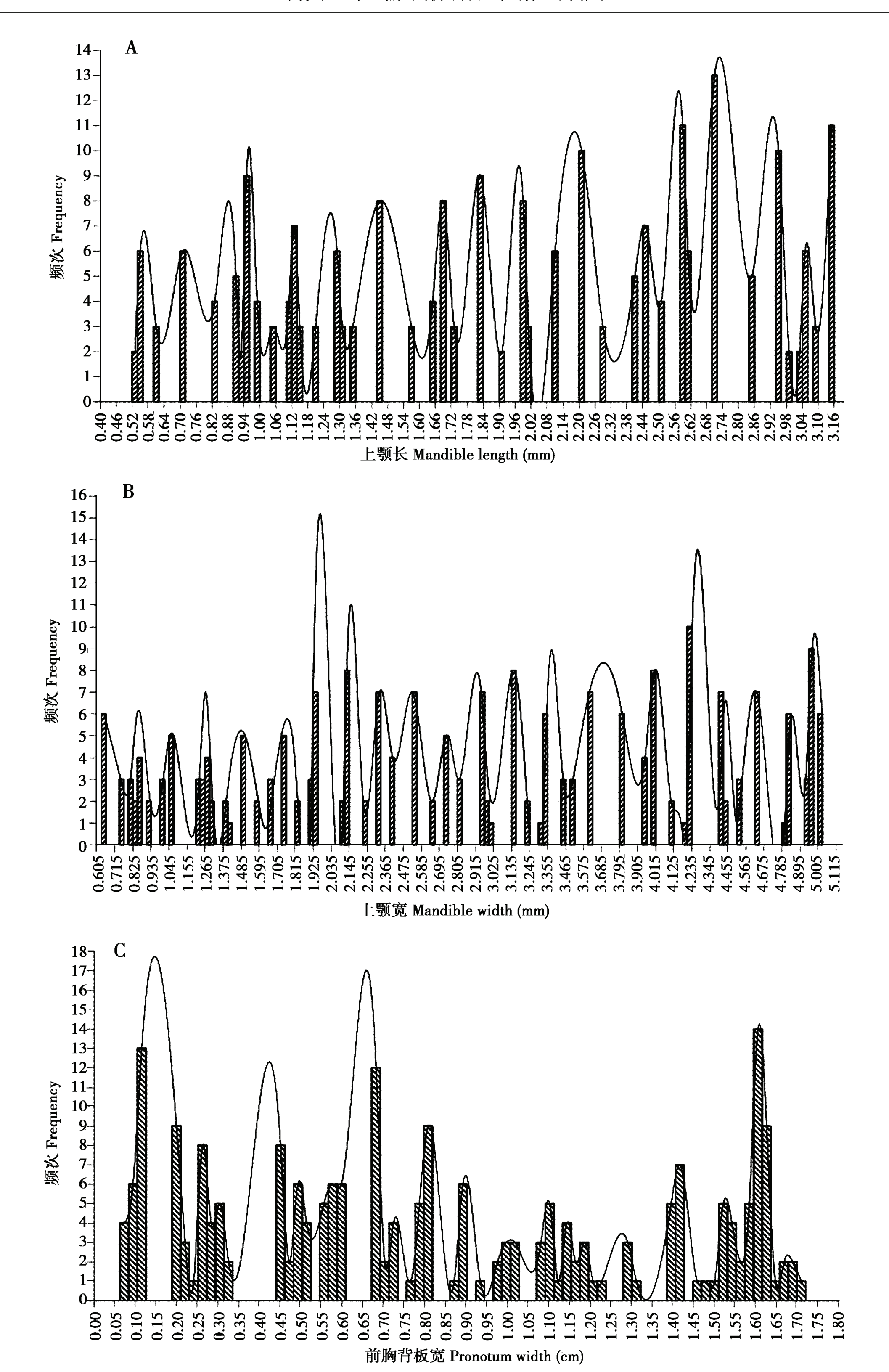


图 2　榆木蠹蛾幼虫上颚长(A)、上颚宽(B)和前胸背板宽(C)频数分布

Fig. 2　Frequency distribution of mandible length (A), mandible width (B) and pronotum width (C) of *Holcocerus vicarius* larvae

界限明显；幼虫体长(图 1：B)和上颚长(图 2：A)分别有 18 个峰，体宽(图 1：C)和前胸背板宽(图 2：C)分别有 19 个峰，上颚宽(图2：B)有 21 个峰。若按照体长、体宽、上颚长和前胸背板宽作为分龄指标，分为 18 或 19 龄，结果显示每项指标 Crosby 指数均有大于 10% 的，说明榆木蠹蛾幼虫分为 18 或 19 龄不合理，同时说明体长、体宽、上颚长和前胸背板宽不适宜作为榆木蠹蛾幼虫的分龄指标。根据头壳宽和上颚宽的频次分布图以及 Crosby 指数小于 10%，由 Dyar 定律推断榆木蠹蛾幼虫分为 20 或 21 龄。

2.3 榆木蠹蛾幼虫龄数的确定及拟合效果

陈永年和潘桐(1988)认为昆虫幼虫头壳及其他表皮结构增长的对数值与龄数之间存在直线关系和修改指数曲线关系两种关系，分别对 6 项指标和龄数进行线性和指数回归分析(表 2)，结果表明，指数模型回归系数均较小，拟合程度较差，而 6 项指标与龄数间的线性拟合的回归系数均较大，其中以榆木蠹蛾幼虫头壳宽值和龄数的三次线性回归系数最大($R^2=0.996$)，幼虫头壳宽值和龄数的二次线性回归系数次之($R^2=0.995$)，直线回归系数为 $R^2=0.993$，上颚宽的直线回归系数为 $R^2=0.991$，因此认为头壳宽是最佳分龄指标，上颚宽可作为分龄的辅助和验证指标，亦表明可以根据头壳宽将榆木蠹蛾幼虫分为 20 龄。

表 2 榆木蠹蛾幼虫 6 种形态结构测量值回归方程及回归系数

Table 2 Regression equation and coefficient of six morphological structures of *Holcocerus vicarius* larvae

形态结构 Morphological structures	拟合模型 Fitted model	回归方程 Regression equation	回归系数 R^2 Regression coefficient
头壳宽 Head capsule width	直线 Linear	$y=-0.752+2.437x$	0.993
	二次 Quadratic	$y=0.002+1.959x+0.054x^2$	0.995
	三次 Cubic	$y=0.233+1.686x+0.127x^2-0.005x^3$	0.996
	指数 Exponential	$y=1.779e^{0.33x}$	0.871
体长 Body length	直线 Linear	$y=1.38+1.991x$	0.976
	二次 Quadratic	$y=-0.162+3.048x-0.118x^2$	0.983
	三次 Cubic	$y=-0.925+3.997x-0.380x^2+0.019x^3$	0.988
	指数 Exponential	$y=2.389e^{0.277x}$	0.763
体宽 Body width	直线 Linear	$y=0.543+10.594x$	0.990
	二次 Quadratic	$y=-0.253+13.235x-1.431x^2$	0.990
	三次 Cubic	$y=-0.813+16.558x-5.87x^2+1.603x^3$	0.925
	指数 Exponential	$y=2.106e^{1.444x}$	0.819
上颚长 Mandible length	直线 Linear	$y=-1.701+6.212x$	0.987
	二次 Quadratic	$y=-3.322+8.422x-0.594x^2$	0.989
	三次 Cubic	$y=-6.448+15.238x-4.754x^2+0.75x^3$	0.990
	指数 Exponential	$y=1.479e^{0.883x}$	0.812
上颚宽 Mandible width	直线 Linear	$y=-1.763+4.521x$	0.991
	二次 Quadratic	$y=-2.138+4.902x-0.068x^2$	0.988
	三次 Cubic	$y=-2.268+5.114x-0.157x^2+0.011x^3$	0.988
	指数 Exponential	$y=1.61e^{0.587x}$	0.843
前胸背板宽 Pronotum width	直线 Linear	$y=0.118+11.187x$	0.977
	二次 Quadratic	$y=-0.07+11.832x-0.366x^2$	0.985
	三次 Cubic	$y=-0.094+11.98x-0.568x^2+0.075x^3$	0.936
	指数 Exponential	$y=1.955e^{1.544x}$	0.854

3　讨论

大多数木蠹蛾是蛀干害虫，发育历期较长，生活隐蔽，幼虫龄数判定难度较大，田间抽样调查受各种因素的影响，不同研究者会出现不同研究结果。本研究通过测定榆木蠹蛾幼虫头壳宽、体长、体宽、前胸背板宽、上颚长和上颚宽值，并计算其均值、标准误差、变异系数、Brooks 指数、Grosby 指数的方法确定榆木蠹蛾幼虫分为 20 龄。方德齐和陈树良(1987)报道山东的榆木蠹蛾室内饲养结果为 1 年 1 代者仅 10 龄，2 年 1 代者 18 龄，3 年 1 代均在 20 龄以上；李宪臣等(1991)通过多年人工饲养榆木蠹蛾认为其为 23 龄；花保祯等(1990)认为榆木蠹蛾 1 年 1 代者为 10 龄，2 年 1 代者 18 龄，3 年 1 代者达到 20 龄以上，最多为 23 龄。这些结果与本研究结果不尽相同，榆木蠹蛾在宁夏 3 年发生 1 代(另文发表)，这可能是昆虫幼虫的龄数与昆虫的生存环境，包括取食条件、气候等因素都有关。

研究中所选择的 6 项指标中，幼虫头部骨化程度最高，以一定的几何级数方式增长，是间断式的，与 Dyar 测定鳞翅目幼虫头壳发现相邻龄期的幼虫头壳宽度存在一定的几何级数关系的 Dyar 氏法则(彩万志等，2001)相一致。在已经报道的几种木蠹蛾幼虫龄数的划分中，宗世祥等(2006)通过测头壳宽、体长、体宽和臀足趾钩数等将沙棘木蠹蛾 *Holcocerus hippophaecolus* 分为 16 龄，胡忠朗等(1987)通过测头壳宽计算得沙柳木蠹蛾 *Holcocerus arenicola* (Staudinger)为 13 龄，蔡振声等(1974)通过室内饲养和野外采集标本测定头壳宽证明杨木蠹蛾 *Cossus cossus* L. 有 16 龄，都说明利用头壳宽值作为木蠹蛾幼虫分龄指标是合理的。

在各项指标的模型拟合中，头壳宽值和龄数之间的回归方程 $y = 0.233 + 1.686x + 0.127x^2 - 0.005x^3$ 的 $R^2 = 0.996$ 最大，说明利用三次线性回归方程推断榆木蠹蛾幼虫的龄数最好；头壳宽值和龄数之间的二次线性回归方程 $y = 0.002 + 1.959x + 0.054x^2$ ($R^2 = 0.995$) 次之，直线回归系数为 $R^2 = 0.993$，都符合 Dyar 定律提出的幼虫头壳宽与龄数存在的几何级关系。根据上颚宽将榆木蠹蛾幼虫分为 21 龄，其直线回归系数较大($R^2 = 0.991$)，其回归方程是 $y = -1.763 + 4.521x$，因此上颚宽可以作为榆木蠹蛾分龄的辅助和验证指标。

参考文献(References)

Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, Liang GW, Song DL, 2001. General Entomology. China Agricultural University Press, Beijing. 236. [彩万志，庞雄飞，花保祯，梁广文，宋敦伦，2001. 普通昆虫学. 北京：中国农业大学出版社. 236]

Cai ZS, Xu ZG, Lu XF, 1974. A preliminary study on the wood moth *Cossus cossus* L. in Chinghai. *Acta Entomologica Sinica*, 17(4): 385 -396. [蔡振声，许振国，路兴发，1974. 杨木蠹蛾的初步研究. 昆虫学报，17(4)：385 -396]

Chen YN, Pan T, 1988. About the growth law of feeding ability and head capsule width of insect larvae. *Chinese Bulletin of Entomology*, 25(4): 235 -240. [陈永年，潘桐，1988. 也谈昆虫幼虫头宽及摄食量的增长规律. 昆虫知识，25(4)：235 -240]

Fang DQ, Chen SL, 1987. Bionomics of the elm wood moth, *Holcocerus vicarius* Walker. *Scientia Silvae Sinicae*, 72 -77. [方德齐，陈树良，1987. 榆木蠹蛾(柳干木蠹蛾)生物学特性. 林业科学，72 -77]

Fang DQ, Chen SL, Li XC, 1992. The status of studies on Cossidae in China. *Shaanxi Forest Science and Technology*, (2): 29 -35. [方德齐，陈树良，李宪臣，1992. 中国木蠹蛾研究进展情况. 陕西林业科技，(2)：29 -35]

Gao TY, Sun P, Lang XR, 2008. Study on bionomics characteristic and integration control technology of *Holcocerus vicarius* (Walker). *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, (5): 19 -20. [高同义，孙普，郎杏茹，2008. 榆树木蠹蛾生态学特性及综合防控技术研究. 宁夏农林科技，(5)：19 -20]

Hao XY, Shi AX, Zhang JF, 2006. Biological characteristic and control of Cossidae. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, (5): 55 -56. [郝小燕，石爱霞，张剑峰，2006. 木蠹蛾生物学特性及防治. 内蒙古农业科技，(5)：55 -56]

Hu ZL, Chen XD, Yang PH, Wang ZX, Ji XZ, 1987. A study on the cossid *Holcocerus arenicola* (Staudinger) in Shaanxi. *Acta Entomologica Sinica*, 30(3): 259 -265. [胡忠朗，陈孝达，杨鹏辉，王兆玺，姬翔洲，1987. 沙柳木蠹蛾的研究. 昆虫学报，30(3)：259 -265]

Hua BZ, Zhou Y, Fang DQ, Chen SL, 1990. The Cossid Fauna of China (Lepidoptera: Cossidae). Tianze Press, Yangling, Shaanxi. 3. [花保祯，周尧，方德齐，陈树良，1990. 中国木蠹蛾志(鳞翅目：木蠹蛾科). 陕西杨凌：天则出版社. 3]

Li B, Zhong LJ, Zhang XM, 2005. Biological characteristics of *Holcocerus vicarius* and its control. *Jilin Forestry Science and Technology*, 34(2): 24 -25. [李冰，钟利军，张秀梅，2005. 柳乌蠹蛾的生物学特性及防治. 吉林林业科技，34(2)：24 -25]

Li XC, Feng JM, Liu HX, 1991. Test of carpenterworm moth larvae fed with semi-synthetic diet. *Journal of Shandong Forestry Science and Technology*, (3): 56 -59. [李宪臣，冯健民，刘焕秀，1991. 人工半合成饲料饲养木蠹蛾幼虫试验. 山东林业科技，(3)：56 -59]

Management Office of Preventing Exotic Forest Pests of State Forestry Administration, 2003. List of Hazardous Forestry Pests. http://www.forestry.gov.cn, 2003-4-15. [国家林业局防止外来林业有

害生物管理办公室，2003. 林业危险性有害生物名单. http://www.forestry.gov.cn，2003-4-15]

Xiao GR，1992. Forest Insects of China. China Forestry Press，Beijing. 765. [萧刚柔，1992. 中国森林昆虫. 北京：中国林业出版社. 765]

Yang MH，Zhang JT，Fan LH，Liu HX，Luo YQ，Zong SX，Cao CJ，2011. Ultrastructural observation of the sex pheromone communication system in *Holcocerus vicarius* (Walker) (Lepidoptera：Cossidae). *Acta Entomologica Sinica*，54(5)：522-530. [杨美红，张金桐，范丽华，刘红霞，骆有庆，宗世祥，曹川健，2011. 榆木蠹蛾性信息素通讯系统的超微结构观察. 昆虫学报，54(5)：522-530]

Yang MH，Zhang JT，Liu JL，Jing XY，Luo YQ，Zong SX，Cao CJ，Li YH，2010. Reproductive behavior and circadian rhythm of sex pheromone production and release of *Holcocerus vicarius* (Walker) (Lepidoptera：Cossidae). *Acta Entomologica Sinica*，53(11)：1273-1280. [杨美红，张金桐，刘金龙，荆小院，骆有庆，宗世祥，曹川健，李月华，2010. 榆木蠹蛾生殖行为及性信息素产生与释放节律. 昆虫学报，53(11)：1273-1280]

Zong SX，Luo YQ，Xu ZC，Wang T，2006. Preliminary study on different larval instars of seabuckthorn carpenter moth，*Holcocerus hippophaecolus*. *Chinese Bulletin of Entomology*，43(5)：626-631. [宗世祥，骆有庆，许志春，王涛，2006. 沙棘木蠹蛾幼虫龄期的初步研究. 昆虫知识，43(5)：626-631]

（责任编辑：武晓颖）